

銅合金鋳物溶解炉の省エネルギー対策

*Energy Saving of Melting Furnace
for Cu-alloy Casting*

東 忠宏* 根津 修* 片桐 真子*
Tadahiro Azuma Osamu Nezu Mako Katagiri

(1999年9月10日 受理)

The relationship has been studied between the diameter of the upper exit and the thermal efficiency on the open flame crucible furnace for Cu alloy casting. It was found that by decreasing the diameter to half, the amount of energy consumption was reduced 11 percent, the melting time became shorter and intense heat in the factory went down. It was also studied how the combustion atmosphere above the surface of the molten metal influenced to the quality of the cast metal and was found that the difference of the atmosphere doesn't have any effect to it within this research condition. At the same time, we compared the size of flame on the upper exit of the furnace on the video before and after the countermeasure of the energy saving.

キーワード：燃焼式溶解炉、省エネルギー、銅合金鋳物、溶湯、火炎、ビデオ映像

1. はじめに

銅合金鋳物工場では、燃焼式オープン型つぼ炉が用いられ、製品コストの切り下げのため、省エネルギー効率の向上、溶湯品質管理に取り組んでおり、工場の酷暑化低減も必要である。

筆者らは、燃焼式オープン型つぼ炉で、排ガス出口径を195mm, 100mm, 50mmの3段階に変化させてアルミニウム鋳物合金AC4Cを溶解する試験を行った。その結果、炉上部排ガス出口径が100mmの場合に最も熱効率が高くなることを見いだしている¹⁾。

本研究では、大阪銅合金鋳物工業協同組合の活路開拓指導調査・実現化事業に協力して、このオープン型つぼ炉について、経済性、作業性、溶湯管理などの観点から種々の省エネルギー対策を検討する。対策として、炉上部排気出口径を半分程度にしぼって、熱効率を高める方法および夜間などの炉休止時に炉上部を密閉し、炉壁損失を少なくする方法を実施し、それらの効果について考察する。

オープン型溶解炉では、溶湯面への燃焼排気や大気が入り、水素や酸素の溶湯への吸収が起こりやすい。その結果、鋳物にガス欠陥や酸化物が生じ、良好な品質の鋳物が製造できなくなることがある。このため、従来から水素、酸素が共に少ない溶湯面雰囲気(=中性雰囲気、C値:0.9)となるような空気比で燃焼式溶解炉の運転が行われている²⁾。

今回、炉上部出口を絞るという省エネ対策を実施すると、溶湯面雰囲気の静圧の正圧が大きくなり、溶湯面への燃焼ガスの入り込みが多くなり、溶湯への燃焼排気中の水素、酸素の吸収量が増えて良好な品質の鋳物ができない可能性がある。

このため、良好な品質の鋳物ができない溶湯が生成する条件の有無を考察するため、材料溶過後、炉上部出口を絞るか絞らないのかという2条件に並行して、溶湯面雰囲気が、中性、弱酸化性、弱還元性となるように、空気比を3段階に変化させて溶解したときの溶湯材料について材料試験を行った。

同時に、吹き上げる火炎の大きさをビデオ撮影し、省エネルギー対策前後の相違について考察する。

* システム技術部映像・音響グループ

2. 溶解炉および試験方法

都市ガスを1500℃で燃焼したときの乾き燃焼ガス中のCO₂, CO, O₂, H₂の反応平衡濃度について, JANAFの平衡定数を用いて計算³⁾した結果を表1に示す.

都市ガスを空気比1.0で燃焼することは, 燃焼ガス中の水素, 酸素がともに少なく, 溶湯へのそれらのガスの吸収量が少なくなるので, 良好な铸件製造時の溶解炉の推奨条件となると考えられる. また, 空気比0.99で燃焼すると, 未燃分損失, 過剰空気損失の和が少なく排ガス損失が最も少ない条件である.

表1 都市ガス燃焼時のCO₂, CO, O₂, H₂の平衡濃度
Table 1 Equilibrium conc. of CO₂, CO, O₂, and H₂ using town gas

空気比	CO ₂ %	CO %	O ₂ %	H ₂ %
1.10	10.94	0.01	2.04	0.01
1.09	11.05	0.01	1.86	0.01
1.00	12.08	0.09	0.05	0.04
0.99	11.95	0.32	0.00	0.16
0.96	11.29	1.25	0.00	0.68
0.95	11.07	1.56	0.00	0.86
0.90	9.97	3.13	0.00	1.89
0.83	8.48	5.31	0.00	3.68
0.82	8.28	5.62	0.00	3.97
0.80	7.87	6.23	0.00	4.58

しかし, 銅合金铸件工場で使用されている燃焼式オープン型るつぼ炉では, 炉上部の回転しながら排出される燃焼排気の中心の負圧部から入る大気(酸素:21%)の影響があることを加味して, 空気比を0.95程度(C値:0.9, C値=(CO₂)/(CO₂)+(CO), (CO₂), (CO)は乾き燃焼ガス中のCO₂, COの濃度(%))で燃焼している.

本研究では, 図1のような内壁がマッフル壁構造である可傾式都市ガス燃焼るつぼ炉(燃焼量465kW)を用いて, 青銅6種500kgを以下のような条件で溶解試験を行った.

①全材料溶け落ち後に, 内径φ150厚み50mmの耐火物製の絞り板を, 炉上部材料予熱筒上部に設置するかしないかによる溶解テスト. ①と並行して, ②材料投入から全材料溶け落ちまでは, 空気比を0.95とし, 全材料溶け落ち後は, 空気比を0.8, 0.95, 1.1に調整し, 溶解試験を行った.

試験に際して, 溶解量は, 秤量し, 都市ガス燃焼

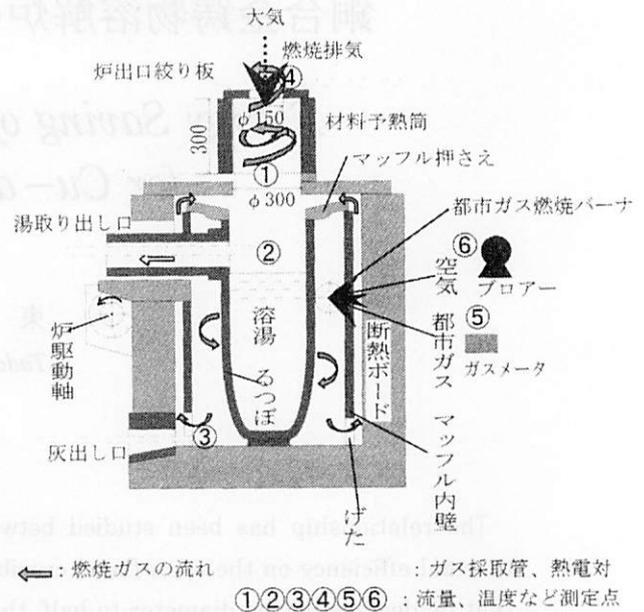


図1 マッフル壁付オープン燃焼式るつぼ炉

Fig 1 Open flame crucible furnace with muffle

量は, ガスメータ⑤の読みを標準状態に換算した. 測定点①で温度, 炉内静圧, CO, O₂, CO₂の濃度などの測定を行い, 燃焼調整を行う. 燃焼調整に用いられる乾き燃焼ガスのCO, O₂, CO₂の濃度は, 次の通りである.

空気比0.8で, CO濃度:5.4%, 空気比0.95で, CO濃度:1.4%であり, 空気比1.1で, O₂濃度:2.0%, CO₂濃度:11%である.

鑄込みは青銅6種500kgを溶解(溶湯温度:1200℃)後, りん銅脱酸(溶湯500kgに対し, 1.3kgで, りん量として約0.04kg)などの溶湯処理を行い, 6分間沈静した後の溶湯を注湯する. 溶湯材料サンプルは, この溶湯処理前後の溶湯をサンプル鑄型に注湯(注湯時溶湯目標温度:1500℃)・鑄込み後, 冷却した材料である. この材料サンプルについて, ①水素定量試験, ②酸素定量試験, ③引っ張り試験, ④ブリネル硬さ試験, ⑤金属分析を行う.

炉上部から吹き上げる火炎の大きさはビデオ映像から解析する.

3. 試験結果および考察

炉上部燃焼排気出口に絞り板を設置しないときの測定点①, ②, ③における炉内静圧は, 0Pa, 0Pa, 245Paであるが, 炉上部燃焼排気出口に絞り板を設置したときの①, ②, ③における炉内静圧は, 59Pa, 59Pa,

304Paと静圧が増加している。このことは、溶湯面への燃焼ガスの入り込みが多くなることを表している。

表2に、材料溶落後の空気比を初回溶解時に0.95とし、2回目溶解時に0.8、3回目溶解時に1.1とし、材料溶落後、炉上部燃焼排気出口に絞り板を設置するかしないかによって、溶解時間や熱効率がどのように変わるかを溶解試験した結果を示す。

表2 炉上部排気出口への絞り板設置による溶解時間、熱効率の相違

Table 2 The effect on the melting time and the thermal efficiency when decreasing the diameter of the upper exit

<初回溶解、溶落後の空気比：0.95>

絞り板 有無	溶解時間 min	燃料流量 V_0 m^3/s	溶解量 M kg	熱効率 Q %
有り	125	65.6	490.4	10.62
無し	132	73.9	490.4	9.41

<2回目溶解、溶落後の空気比：0.8>

絞り板 有無	溶解時間 min	燃料流量 V_0 m^3/s	溶解量 M kg	熱効率 Q %
有り	82	45.5	499.4	15.57
無し	89	49.4	489.6	14.06

<3回目溶解、溶落後の空気比：1.1>

絞り板 有無	溶解時間 min	燃料流量 V_0 m^3/s	溶解量 M kg	熱効率 Q %
有り	77	38.1	494.8	18.42
無し	79	39.1	497.6	18.06

ここで、1kgのBC6冷材(25℃)を溶解し、1200℃の溶湯にする熱量は、BC6(CAC406)の組成を、Cu-5% Zn-5%Pb-5%Snとすると、各組成の熱容量、融解熱の和から1200℃における混合熱を差し引き156kcal/kgとなる¹⁾。また、熱効率Q(%)は次式から求める。

$$Q = \frac{\text{溶解量 } M \text{ (kg)} \times 156 \text{ (kcal/kg)} \times 100}{\text{都市ガス燃焼量 } V_0 \text{ (m}^3\text{/s)} \times 11,000 \text{ (kcal/m}^3\text{/s)}}$$

炉上部排気出口に絞り板を付けると、熱効率は、初回溶解時で、9.41%から10.62%に向上、2回目溶解時には、14.06%から15.57%に向上、3回目溶解時には、18.06%から18.42%に向上する。この結果より、初回溶解時のエネルギー消費量(都市ガス燃焼量)は、11%低減していることがわかる。

なお、溶落後の空気比を0.95から0.8、1.1へと変

化させると、熱効率が向上するよう見えるが、溶落後の空気比を0.95と変えないで、炉上部排気出口を絞る溶解試験を行うと、初回、2回目、3回目と溶解回数が多くなるにつれて、表2と同じ傾向で熱効率が向上しており、溶落後の空気比を変えただけでは熱効率は向上しないことがわかる。

また、炉上部排気出口に絞り板を付けると、溶解時間は、初回溶解時で、132分から125分に、2回目溶解時で、87分から82分に、3回目溶解時で、79分から72分に短くなる。

上記の試験とは別に、夜間に炉上部排気出口を密閉すると、翌日、溶解量500kg(切り粉1割程度)での初回溶解時のエネルギー原単位(単位溶解重量当たりのエネルギー消費量)は、5.362MJ/kgから5.182MJ/kgに低減する。つまり、初回溶解時のエネルギー原単位は3%低減した。

全材料溶け落ち後に絞り板を設置することにより酸素や水素の吸収により溶湯不良が起こるかどうかを、6条件(空気比0.8、0.95、1.1の各々に対して絞り板の有無)の溶湯処理前後の材料について試験を行った結果¹⁾を表3に示す。ここで、①水素定量試験は、溶落後も空気比0.95で溶解した午前中の溶湯試料のみについて、不活性ガス搬送融解-熱伝導度法により行う。これは、水素ガスが逃げやすいので、鑄込んだ試料をその日の内に分析しなければ測定誤差が多くなるためである。②酸素定量試験は、JIS Z 2613 金属材料の酸素定量法の不活性ガス搬送法により行う。③引っ張り試験は、JIS 4号試験片を作成、JIS Z 2201, 2241に準じて行う。④ブリネル硬度試験は、JIS Z 2243により行う。⑤金属分析は、JIS H 1051の電解重量法およびICP発光分析法により行う。

表3の機械的強度および組成分析から、今回の6溶解条件の溶湯材料範囲内では、実用の鑄造作業上問題となるような大きな差異が認められないことがわかる。たとえば、鑄造作業上問題となる水素濃度は、3.5ppmであり²⁾、この値に比較すると、絞り板を付けても付けなくても差異はないと考えられる。

図2には、全材料溶け落ち後に材料予熱筒上部の排気出口に絞り板を設ける場合と設けない場合、並行して空気比を0.8、0.95、1.1の3段階に変化させたときの火炎の大きさをビデオ撮影し、比較したものを示す。炉上部出口の直径が300mmの場合、直径を150mmに絞った場合に比べて高さは約1.5倍になり、火炎の体積は約6倍になる。また、空気比が0.8で、炉上部出口の絞りがないと、炉上部に3m近く上昇

し、溶湯温度測定が耐えきれない高温作業となる。

4. まとめ

都市ガス燃焼式銅合金鋳物マッフル壁るつぼ炉の省エネルギー策として、(1)全材料溶落後に、炉上部出口径を2分の1に絞る絞り板を炉上部排ガス出口に設置する。(2)夜間休止時に炉上部を密閉する。という対策を行った。その結果、(1)によって、初回溶解時の熱効率は9.41%から10.62%に向上し、エネルギー消費量の都市ガス燃焼量は11%低減した。(2)によって、初回溶解時の都市ガス燃焼量は3%低減した。

これまで、炉上部燃焼排気出口を絞るというような方法は、燃焼ガスの水素、酸素の溶湯面への吸収

が多くなり、鋳物に酸化物やガス欠陥による不良が増えるとして、採用されていなかった。

今回の試験範囲条件では、このような問題が起こらないことが明らかにされた。

また、炉上部出口径を2分の1に絞る絞り板を炉上部排ガス出口に設置すると火炎の吹き上げ量が減少し、工場の酷暑化低減に役立つこともわかった。

参考文献

- 1) 日本鋳物協会秋季大会講演予稿集 (1985. 10)
- 2) (財) 素形材センター 鋳造技術シリーズ5 銅合金鋳物の生産技術 (1997. 3. 14)
- 3) 水谷幸夫 燃焼工学 第2版 (1991. 4. 10)
- 4) 大阪銅合金鋳物工業協同組合 平成10年度中小企業活路開拓調査・実現化事業報告書 (平成11年3月)

表3 機械的強度および組成分析¹⁾

Table 3 The mechanical strength and the chemical composition

溶解・溶湯処理条件		機械的強度			組成分析								
溶落後	絞	脱酸	引張強さ	破断伸び	硬度	水素	酸素	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	P
絞り板	空気比	処理	N/mm ²	%	HB	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%
あり	0.95	前	260	34.8	67	0.9	21	84.7	4.4	5.1	5.0	0.1	0.00
	0.95	後	242	23.0	70	0.9	23	85.0	4.4	5.0	5.0	0.1	0.03
	0.8	前	210	15.8	70	—	20	85.0	4.3	5.0	5.1	0.1	0.01
	0.8	後	251	23.6	74	—	17	84.8	4.4	5.1	5.1	0.1	0.04
	1.1	前	234	22.0	69	—	17	84.3	4.4	5.1	5.4	0.2	0.00
	1.1	後	238	23.6	70	—	13	84.6	4.4	5.0	5.4	0.1	0.03
なし	0.95	前	236	26.4	65	0.7	12	84.4	4.5	5.2	5.3	0.2	0.00
	0.95	後	252	29.2	70	0.7	13	84.8	4.4	5.0	5.2	0.1	0.03
	0.8	前	236	27.0	70	—	12	84.3	4.5	5.4	5.3	0.1	0.00
	0.8	後	248	25.2	63	—	15	84.6	4.4	5.2	5.1	0.1	0.01
	1.1	前	253	29.4	69	—	15	84.5	4.4	5.0	5.4	0.1	0.00
	1.1	後	249	22.4	65	—	13	84.7	4.4	4.9	5.3	0.1	0.03



図2 炉上部出口径を絞ることによる火炎の大きさの違い

Fig 2 Relationship between the size of flame and the diameter of the exit